

都市中心部の規模縮小政策がもたらす渋滞下の公共交通機関利用への影響

著者	松崎 大介
著者別名	Daisuke Matsuzaki
雑誌名	経済論集
巻	45
号	1
ページ	89-105
発行年	2019-12
URL	http://id.nii.ac.jp/1060/00011295/

都市中心部の規模縮小政策がもたらす 渋滞下の公共交通機関利用への影響

松 崎 大 介

概 要

本稿では、交通渋滞が発生する状況下において、都市中心部の規模縮小政策が、移動手段としての自家用車利用と公共交通機関利用の代替関係に与える影響について分析を行う。特に、本稿では、人々が都市郊外に一様に分布し、交通渋滞が家計の自家用車利用の技術的外部不経済として発生する状況を考察する。その下で、様々な人口規模や都市環境の下において、都市中心部の規模縮小政策が、公共交通機関利用にどのように影響を与えるのかについて理論的な考察を行った。本稿の結論は、以下の通り。まず、交通渋滞を考慮した場合、都市周辺の人口密度が高い（低い）場合、都市中心部の規模を小さくすればするほど、公共交通機関の利用比率は低く（高く）なり、渋滞は悪化（緩和）することがわかった。さらに、同一の人口密度下で都市の自然環境が厳しく（穏やか）で徒歩費用が高い（低い）都市において、都市中心部の規模縮小は、公共交通機関利用（自家用車利用）を促しやすいことがわかった。

1. はじめに

近年、日本の地方都市に関し、地方都市中心部の規模縮小が数多く検討されている。例えば、2018年に都市再生特別措置法が改正され、都市機能の効率性を主眼とした市街地の集約化について、法的な措置も整備されつつある状況にある。本研究では、市街地の集約化政策を地方都市中心部の規模縮小政策ととらえ、この政策がもたらす公共交通機関の利用や道路渋滞に与える影響について分析を行いたい。特に、家計の交通手段の選択を通じて、交通渋滞が発生する可能性のある都市モデルを用いて、都市中心部の規模縮小政策が、移動手段としての自家用車利用と公共交通機関利用の代替関係に与える影響について分析を行う。本稿では、人々が都市郊外に一様に分布し、交通渋滞が自家用車利用の技術的外部不経済として発生する下で、都市中心部の規模縮小政策が公共

交通機関利用をどの程度促進するのかについて理論的な考察を行った。

都市間を結ぶ交通量の分析は、森地・山形（1993）や山内・竹内（2008）が示しているように、古くから土木工学の分野において四段階推定法などを用いてなされてきた。具体的には、都市間の分布交通量に関しては各都市の人口の大きさや費用・距離などを換算して分析する重力モデルや、交通手段の排他的な離散選択となる分担交通量に関してはロジットモデル等を用いた分析が行われてきた。さらに、近代経済学との接点を持つ分析として、古くはQuandt and Baumol（1966）は家計の交通需要について、所得や雇用形態、時間、費用などを経済学的な需要要因を用いた分析を行っており、近年では、Beckmann（1999）などにより、CES型の効用関数を持つ家計の主体的な選択を通じて重力モデルと同様の結論を導出する分析などがなされてきた。しかし、これまでの分析では、地域間の交通需要の原因を抽象的にモデルへ導入し分析するものが主であった。そのため、都市中心部という面の性質が、渋滞を通じ地域における各種交通手段の需要にどのような影響を与えるのかという問題に対し、その構造を理論的に明示した分析がなされてこなかった。本研究では、交通渋滞が発生する理論的な構造をモデルに組み入れた上で、都市の中における交通問題を都市中心部という面の性質と交通手段の代替について分析を行う。

本稿では、都市中心部には住居地域はなく、都市近郊のみ一様に家計が居住する都市を考える。居住地域の住民は、都市中心部への通勤手段として、徒歩、自家用車の利用、公共交通機関の利用の3つの手段を想定する。環境の異なる地方都市における交通需要を考察した松崎（2015）では、渋滞の存在しない単純な線形都市のモデルを用いて、各交通費用の削減がもたらす交通需要への影響について分析を行っている。本稿では、松崎（2015）で用いられた都市モデルを用いつつ、自家用車利用による渋滞の発生を考慮に入れた分析を行いたい。ここで考える渋滞とは、自家用車を利用し都市中心部に近づくにつれて交通渋滞が深刻度を増すというものである。その上で、本稿では、都市中心部の規模を縮小する政策が、自家用車利用と公共交通機関利用の2つに対する代替関係にどのような影響を与えるのかについて分析を行う。ここで、自家用車利用とは自宅から自家用車にて最終目的地に向かうことを指し、公共交通機関利用とは、自宅から最寄の駅まで徒歩で向かい、公共交通機関を利用して都市中心部の端の駅で下車し、徒歩にて最終目的地に向かうことを指している。結論としては、都市中心部の規模縮小政策を取る場合、都市近郊の人口密度と自然環境の違いによって、公共交通機関の利用促進に関して異なる影響が生じることがわかった。

まず、都市近郊の人口密度の違いに着目してみよう。本稿のモデルにおいて、都市近郊の人口密度が大きい都市では、都市中心部において特に顕著な交通渋滞が発生している。そのため、都市中心部の規模縮小政策は、公共交通機関の利用において都市中心部の徒歩費用を削減する一方、自家用車利用において最も渋滞の発生する都市中心部の移動費用を大きく削減する結果、かえって自家用車利用を促し、渋滞が悪化することが示される。この状況においては、都市中心部を縮小すると

いう政策は、交通渋滞に対して悪影響を及ぼす政策となる。一方、都市近郊の人口密度が小さい都市において、都市中心部の規模の縮小は、渋滞の存在しないモデルと同様に、公共交通機関の利用を促進する。これは、最終目的地までの距離が小さくなれば、自家用車利用に起因する渋滞がそもそも大きくないためその費用減少効果は小さい一方、公共交通機関利用の総費用が減少するためである。

次に、各都市の直面する自然環境の違いに着目してみよう。自然環境が穏やかで徒歩費用が低い都市の場合、都市中心部の規模縮小政策は、公共交通機関利用時における徒歩費用をあまり減少しない一方、自家用車利用の費用は相対的に大きく減少してしまう。そのため、都市中心部の規模縮小政策により、却って自家用車利用を増加させ、渋滞を発生させる可能性を高める。この場合、公共交通機関は需要者が少なくなるため衰退することになる。逆に、自然環境が厳しく徒歩費用が高い都市の場合、都市中心部の規模縮小政策は、公共交通機関利用時の徒歩費用を相対的に大きく減少するため、公共交通機関の利用を促すことがわかった。

本稿の構成は以下の通り。第2節では、渋滞の無い線形都市における、都市中心部の規模縮小政策の交通手段への影響についてまとめ、第3節において、渋滞の存在する場合の影響について分析をしている。第4節においては、本稿のまとめと今後の課題について示している。

2. 基本モデル

本稿では、都市を都市中心部と都市郊外の2つの部分に分割し、その都市に住むすべての家計は都市郊外に居住していることを想定して分析を行う。その上で、本稿では、都市郊外は単純な線形都市であり、都市中心部から最も遠い地点を地点0とし、最も近い地点を地点1として、この両地点に公共交通機関の駅があり、さらに、この両地点の間に家計が一様分布で居住していると仮定する。これら家計は、すべて都市中心部に通勤しており、その交通手段として徒歩、自家用車、公共交通機関の3つを利用する事ができる。このような都市を想定した、松崎（2015）では、自家用車利用に起因する交通渋滞を想定しないモデルとして、各交通手段の移動費用を政策により削減した場合の交通手段の代替効果を、都市の性質ごとに分析を行っている。具体的には、道路網の拡充や公共交通機関の利用料金の低下は、各交通手段の移動費用を低下させるが、これらの変化は、都市中心部の規模や徒歩費用の異なる都市において、様々な形で代替効果をもたらすことを示した。一方、本稿では、交通渋滞を考慮に入れた上で、都市中心部分の規模縮小政策に焦点を当て、その政策に起因する交通手段の代替効果について分析を行いたい。特に都市の人口密度が大きさにより、自家用車利用による交通渋滞が都市中心部に近づくほど多数発生するという状況をモデルに導入しつつ、都市中心部の規模縮小政策の影響について分析を行う。

各地点に住む家計の交通手段の選択について考えてみよう。本稿では、各家計の都市中心部への

交通手段として、公共交通機関利用・自家用車利用・徒歩移動の3つの手段を想定している。公共交通機関を利用する場合、都市中心部から離れた地点0に公共交通を利用するための駅Aがあるため、まずこの地点0まで徒歩にて移動し、その後公共交通機関を利用して都市中心部に近い地点1の駅Bまで向かう。次に、駅Bより都市中心部の最終目的地まで徒歩にて向かう。駅Bと最終目的地までの距離は β であり、これは地方都市の規模を表している。なお、この距離 β は当然のことながら、都市郊外の距離1よりも小さい値を想定しており、この地点1における駅Bと最終目的地の区間は高度な商業地であり居住者はいないと仮定する。日本の地方都市を考えているため、都市中心部にも自家用車は容易に入ることができ、自家用車利用については、出発から最終目的地までの全区間を自家用車のみにて行う移動であると想定する。

本稿において、都市郊外の線形都市において、地点0から地点1の方向にむかって距離 x の地点に個人 x が居住すると考える。個人 x が地方都市内の最終目的地に至るためには、自家用車、公共交通機関、徒歩の3種類の交通手段が存在し、これらそれぞれの単位距離あたり移動費用は、自家用車利用の費用は t_1 、公共交通機関利用の費用は t_2 、徒歩利用の費用は t_3 とする。特に、本稿では、自動車利用から公共交通機関利用への移行政策を考察したいため、公共交通機関が実質的に存在しない状況など、自動車利用が常に最も低費用となる状況は分析の対象としない。そのため、公共交通機関利用の移動費用 t_2 は自動車利用の移動費用 t_1 よりも低くなる状況を考える。また、徒歩の単位距離あたりの移動費用 t_3 は通常最も大きいと考えられるため、移動費用に関し以下の仮定1が成立することを想定する。

仮定1：公共交通機関利用・自家用車利用・徒歩移動の単位距離あたり移動費用の大きさは $t_2 < t_1 < t_3$ である。

ここで、公共交通機関と自家用車のどちらの交通手段を選択することも無差別となる限界的な個人を個人 x^* とする。家計は最も移動費用が少ない移動手段が望ましいので、地点 x^* より左側に住んでいる個人は公共交通機関を利用し、地点 x^* より右側に住んでいる個人は自家用車を利用する。この場合、個人 x^* が直面する自家用車利用における総移動費用は $(1-x^*)t_1 + \beta t_1$ であり、公共交通機関利用における総移動費用は $t_2 x^* + t_2 + \beta t_3$ である。ここで、個人 x^* は自家用車利用と公共交通機関利用の総移動費用が無差別であるため、以下の関係が得られる。

$$(1+\beta)t_1 - t_1 x^* = t_2 + \beta t_3 + t_2 x^*. \quad (1)$$

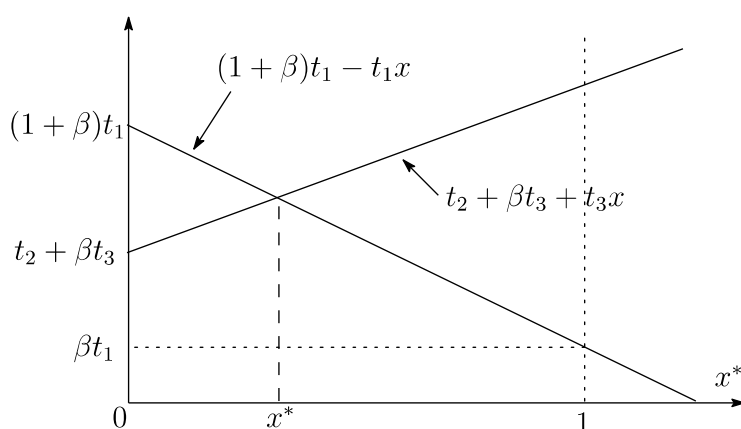


図 1：自家用車利用と公共交通機関利用の費用とその閾値

この状況をより簡単に理解するために、横軸に x をとり(1)式の左辺と右辺を図示すると以下の図 1 となる。

(1)式の左辺は自家用車利用における総移動費用、(1)式の右辺は公共交通機関利用の総移動費用を示している。図 1 は、これら 2 つ費用の交点 x^* が示されており、この点が各交通手段の利用を分ける閾値となる。(1)式を整理すると、以下の x^* を得ることができる。

$$x^* = \frac{t_1 - t_2 - \beta(t_3 - t_1)}{t_1 + t_3}. \quad (2)$$

(2)式における x^* は、交通手段の変わる閾値となる地点を示す。そのため、もし $x^* \leq 0$ であれば、すべての家計は自家用車を利用し、もし $1 \leq x^*$ であれば、すべての家計が公共交通機関を利用することになる。本稿では、分析の対象とする地方都市として、自家用車利用の代替となる公共交通機関が存在する都市と考えているため、 x^* が $0 < x^* < 1$ となる範囲にあることを想定している。ここで、仮定 1 より $t_2 < t_1 < t_3$ を満たす場合、(2)式に関し、以下の不等式が成立することがわかる。

$$x^* = \frac{(1+\beta)t_1 - t_2 - \beta t_3}{t_1 + t_3} < \frac{(1+\beta)t_3 - t_2 - \beta t_3}{t_1 + t_3} = \frac{t_3 - t_2}{t_1 + t_3} < 1.$$

そのため、 $x^* < 1$ は、仮定 1 から成立することがわかる。一方、 $0 < x^*$ であるためには、上式における左の等号の右辺分子より、 $t_3 < (t_1 - t_2)/\beta + t_1$ が成立する必要がある。この条件の成立は、地方都市の徒歩費用が比較的低い、自然環境等が穏やかな都市であることを意味する。仮に、 $t_3 \geq (t_1 - t_2)/\beta + t_1$ である場合、徒歩移動に高い費用がかかるため、一部を徒歩で移動する公共交通は利用せず

住民はすべて自家用車を利用する状況となる。この場合、公共交通機関が存在できない状況となるため、本稿での分析対象とはしない。そのため、本稿では徒歩移動の費用 t_3 について以下の仮定を置く。

仮定 2：渋滞が存在しない場合、徒歩費用 t_3 について、 $t_3 < (t_1 - t_2)/\beta + t_1$ の条件を満たす。

以下では、上記 2 つの仮定が成立する地方都市において、都市中心部の規模を縮小する政策について考える。この政策が、移動手段としての自家用車利用と公共交通機関利用の代替関係にどのような影響を与えるのかについて、(1)式の左辺と右辺を図示した図 2 を使い議論してみよう。この議論は、松崎（2015）で数式にて示されたものと同様の議論である。まず、都市中心部の規模である β が減少すると、(1)式の左辺で示される右下がり自家用車利用の移動費用と、右辺である右上がりの公共交通機関利用の移動費用はともに減少し、以下の図 2 のようにこれらの交点となる x は図中の x^* から x^{**} へ移動することになる。

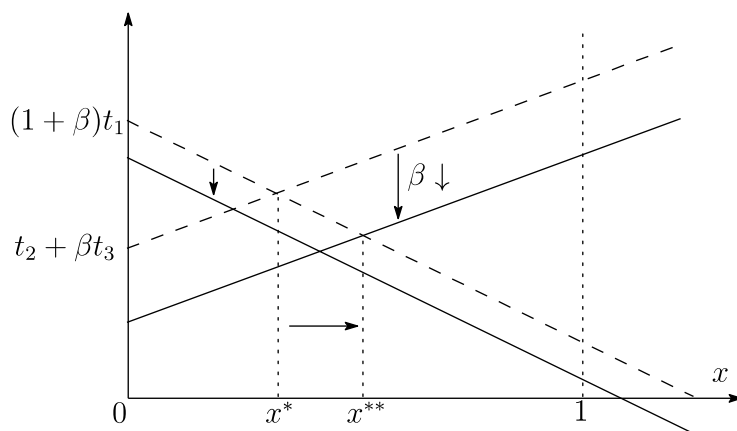


図 2：公共交通機関の利用と都市の性質

図 2 を使った議論から、仮定 1 より $t_1 < t_3$ であるため、 β の減少政策は、各移動費用の交点である x^* の増加を引き起こし、公共交通機関利用を促進することがわかる。さらに、 t_3 の値が大きければ、同じ β の減少でも、より大きく x^* を増加させることとなる。このことは、(2)式より x^* を β で偏微分すると、 $\partial x^*/\partial \beta = -\beta(t_3 - t_1)/(t_1 + t_3) \equiv T_\beta < 0$ となり、 β の減少は x^* の増加を引き起こし、さらに $\partial T_\beta/\partial t_3 = -2t_1/(t_1 + t_3)^2 < 0$ であるため、 t_3 の値が大きければ T_β の値はより負の方向に小さい値となることがわかる。これは、 β の減少は、より大きく x^* を増加させることを意味する。つまり、 t_3 の値が大きければ大きいほど、公共交通機関利用時における自宅から駅までの徒歩費用は増加する一

方、都市中心部移動の徒歩費用が縮小されるため、都市の規模縮小による公共交通機関利用の促進効果が大きくなる。ここでの議論をまとめると、以下の補題となる。

補題：交通渋滞を考慮しない場合、都市の規模の縮小は、常に公共交通機関利用を促進する。さらに、都市の自然環境が厳しいほど、自宅から駅までの徒歩費用が大きくなる一方、都市の規模の縮小に伴う徒歩費用が縮小されるため、都市の規模縮小による公共交通機関利用の促進効果は大きくなる。

3. 基本モデルに交通渋滞を導入

本節では、前節での基本モデルに自家用車利用に起因する交通渋滞をモデルに導入する。交通渋滞が発生すると、不快感が増すだけでなく、目的地までの所要時間が長くなるためその時間に対する追加的な機会費用が発生し、自家用車利用における総移動費用が増加することが予想できる。特に、交通渋滞の性質としては、距離あたりの自家用車利用者が増加するほど混雑が増加するため、結果として最終目的地である都市中心部に近づけば近づくほど、混雑の影響による自家用車利用の単位費用が増加することになる。この状況の下で、都市中心部の規模を縮小する政策を行った場合、自家用車利用と公共交通機関利用の利用者数はどのように変化するかについて考察する。

前節の基本モデルと同様に、都市郊外の住民は都市郊外の地点0から地点1の区間において一様に分布することを考える。以下の図3における都市近郊の人口は一様分布で表現される。具体的には、人口規模は一様分布の厚みを示す外生的な正の値である $\gamma(\geq 0)$ を使って表され、各地点における人口密度は $1 + \gamma$ となる。

この状況について、以下の図3のように示すことができる。

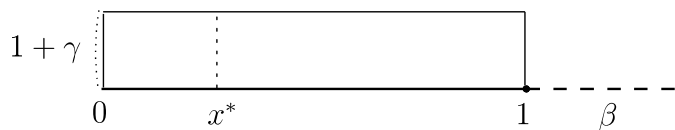


図3：人口規模が $1 + \gamma$ である場合の家計の分布

ここで、仮に $\gamma = 0$ の場合、つまり人口密度が1のときには、自家用車利用により渋滞は発生せず、前節の基本モデルと同様の状況が実現する。一方、人口密度が $\gamma > 1$ となると、渋滞発生し、その費用は都市中心部に近づくにつれて累積的に増加していくことを想定している。

都市中心部までの交通手段は、自家用車利用か公共交通機関利用の2つである。まず、位置 x に

住む家計にとって、公共交通機関を利用する場合について考えてみよう。この場合、家計は徒歩にて地点0に向かい、公共交通機関を利用して地点1に達し、その後は徒歩にて都市中心部の最終目的地に向かう。したがって、その総移動費用は前節と同様に以下となる。

$$t_2 + \beta t_3 + t_3 x \quad (3)$$

次に、自家用車を利用する場合について考えてみよう。この場合、家計は直接自家用車を利用して都市中心部に向かうため、もし渋滞が発生しない場合には、前節と同様に $(1+\beta)t_1 - t_1 x$ だけの総移動費用がかかる。しかし、本節では、渋滞の発生を考察するため、これ以外の追加的な渋滞費用が発生することになる。ここで議論する渋滞費用は以下のようなものである。まず、自家用車利用と公共交通機関利用が分かれる閾値となる地点 x^* と考える。地点 x^* より都市中心部に近い領域の住民は全て自家用車利用となるので、都市中心部に近くなればなるほど渋滞が酷く、追加的な渋滞費用が高くなる。地点 x の住民は、地点1までは累積的に自家用車利用者が増えるため、 $\int_{x^*}^1 (x - x^*) \gamma t_1 dx$ だけの追加的な渋滞費用がかかり、都市中心部に入ると $(1 - x^*)\beta \gamma t_1$ だけの追加的な渋滞費用がかかるとする。自家用車にて移動する際、渋滞によりかかる追加的な渋滞費用は、以下の図4を用いて図示できる。

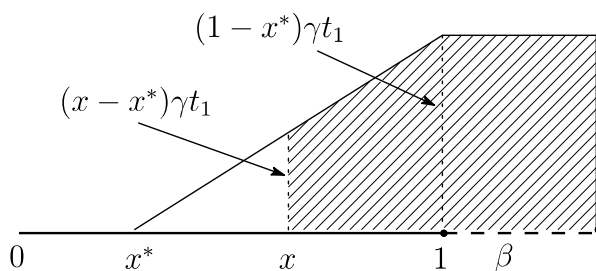


図4

図4の斜線部にて示される領域は、地点 x の住民が、自家用車利用に際して、渋滞に起因し追加的に支払う渋滞費用を示している。自家用車利用による総移動費用は、この渋滞費用に加えて(1)式左辺の移動費用がかかるため、以下のような総移動費用となることがわかる。

$$(1+\beta)t_1 - t_1 x + \int_{x^*}^1 (x - x^*) \gamma t_1 dx + (1 - x^*)\beta \gamma t_1.$$

上式における第3項の定積分を計算し第4項とまとめると、上式は以下のように書くことができる。

$$(1 + \beta)t_1 - t_1x + \gamma t_1 \left(\beta(1 - x^*) + \frac{(1 + x - 2x^*)(1 - x)}{2} \right). \quad (4)$$

前節の議論と同様に、自動車利用と公共交通機関利用のどちらについても無差別となる家計は地点 x^* に居住するため、(3)式および(4)式より、 x^* について以下の関係が成立する。

$$(1 + \beta)t_1 - t_1x^* + \gamma t_1(1 - x^*) \left(\beta + \frac{(1 - x^*)}{2} \right) = t_2 + \beta t_3 + t_3x^*. \quad (5)$$

(5)式を x^* についてまとめると、以下の式が得られる。

$$\frac{\gamma t_1}{2} \left(x^* - \left(1 + \beta + \frac{t_1 + t_3}{\gamma t_1} \right) \right)^2 - \left[\frac{((1 + \beta\gamma)t_1 + t_3)^2}{2\gamma t_1} + \beta(t_3 - t_1) + t_2 + t_3 \right] = 0. \quad (6)$$

ここで、(6)式左辺全体を $\eta(x^*)$ とおく。仮定 1 より、(6)式左辺第 2 項の大括弧内の符号は正であるため、(6)式の解となる x^* として、2 つの実数が存在する事がわかる。仮定 1 の下において以下の不等式が成立している。

$$\eta(1) = -t_3 - \beta(t_3 - t_1) - t_2 < 0.$$

(6)式左辺第 1 項の括弧内における $1 + \beta + (t_1 + t_3)/\gamma t_1$ の項は 1 よりも大きいため、 $\eta(x^*)$ の最小値は $1 < x^*$ となる x^* において実現する。この状況と $\eta(1) < 0$ となることを合わせて考えると、2 つの実数解のうち、小さい解は 1 よりも小さく、大きい解は 1 よりも大きいことがわかる。さらに、2 つの実数解の小さい解が $0 < x^* < 1$ にあるためには、以下の関係を満たしていなければならない。

$$\eta(0) = ((1 + \gamma)t_1 - t_3)\beta + \left(1 + \frac{\gamma}{2}\right)t_1 - t_2 > 0.$$

仮定 1 の下において $(1 + \gamma/2)t_1 - t_2 > 0$ であることを考慮に入れると、上式における $\eta(0) > 0$ が成立する条件として、以下の仮定 2' の成立を想定する¹⁾。

仮定 2'：仮定 1、および、渋滞の存在下において、 γ と t_3 について以下の関係 (I) (II) のいずれ

1) $\gamma = 0$ の状況下において、仮定 2' の (II) より、 t_3 の範囲は $t_3 < \frac{t_1 - t_2}{\beta} + t_1$ となる。これは前節における仮定 2 の状況と一致している。

かが満たされる。

$$(I). \quad \gamma \geq t_3/t_1 - 1$$

$$(II). \quad \gamma < t_3/t_1 - 1, \text{ かつ, } \gamma > \frac{\beta(t_3 - t_1) - (t_1 - t_2)}{t_1(1/2 + \beta)}$$

仮定 2' の (I) を満たす γ と t_3 の組み合わせの場合、 β の水準に関わりなく、 $0 < x^* < 1$ となる解が 1 つ存在する。仮定 2' の (II) を満たす γ と t_3 の組み合わせの場合、2 番目の不等式が示す通り、都市の人口密度の大きさが $\gamma > (\beta(t_3 - t_1) - (t_1 - t_2))/(t_1(1/2 + \beta))$ とある程度以上に場合に限り、公共交通機関が利用される均衡が存在することを示している。これは、 γ が上記の不等式を満たさないほど小さい都市においては、渋滞が少なく自家用車利用が快適であるため、すべての家計が自家用車利用となる $x^* < 0$ が実現するためである。仮定 2' の (II) における 2 つの不等式の右辺について、 t_3 に関する以下の関数 $\theta_1(t_3)$ 、 $\theta_2(t_3)$ をおく。

$$\begin{aligned} \theta_1(t_3) &= t_3/t_1 - 1, \\ \theta_2(t_3) &= \frac{\beta(t_3 - t_1) - (t_1 - t_2)}{t_1(1/2 + \beta)}. \end{aligned} \quad (7)$$

(7)式における関数 $\theta_1(t_3)$ 、 $\theta_2(t_3)$ の値ついて、 $t_3 = t_1$ 、および、 $t_3 = \frac{t_1 - t_2}{\beta} + t_1$ の 2 点の状況下の値と、関数 $\theta_1(t_3)$ 、 $\theta_2(t_3)$ の t_3 に対する微分値について以下の関係が得られる。

$$\begin{aligned} \theta_1(t_1) &= 0 > \frac{-(t_1 - t_2)}{t_1(1/2 + \beta)} = \theta_2(t_1), \\ \theta_1\left(\frac{t_1 - t_2}{\beta} + t_1\right) &= \frac{t_1 - t_2}{\beta t_1} > 0 = \theta_2\left(\frac{t_1 - t_2}{\beta} + t_1\right), \\ \frac{d\theta_1(t_3)}{dt_3} &= \frac{1}{t_1} > \frac{1}{t_1(1/(2\beta) + 1)} = \frac{d\theta_2(t_3)}{dt_3}. \end{aligned}$$

したがって、仮定 2' の条件を満たす γ と t_3 の組み合わせは以下の図 5 の斜線部として示すことができる。

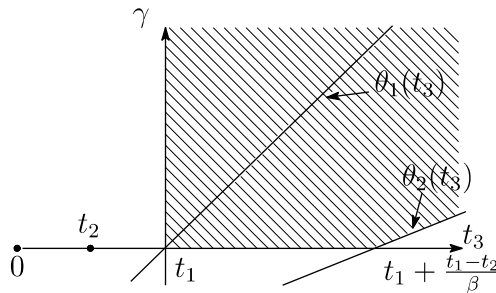


図 5

一方、解析的なアプローチとして、(6)式の解となる 2 つの実数解のうち値の小さい解 x^* は、以下のように示することができる。

$$x^* = \frac{(1 + \beta)\gamma t_1 + t_1 + t_3 - \sqrt{((1 + \beta\gamma)t_1 + t_3)^2 + 2\gamma t_1(\beta(t_3 - t_1) + t_2 + t_3)}}{\gamma t_1} . \quad (8)$$

ここで、都市中心部の縮小政策による変化を明確にするために、(8)式において表される x^* を β で微分し、その値を \hat{T}_β とする。この関係は以下のように示される。

$$\frac{dx^*}{d\beta} = \frac{\sqrt{((1 + \beta\gamma)t_1 + t_3)^2 + 2\gamma t_1(\beta(t_3 - t_1) + t_2 + t_3)} - (\beta\gamma t_1 + 2t_3)}{\sqrt{((1 + \beta\gamma)t_1 + t_3)^2 + 2\gamma t_1(\beta(t_3 - t_1) + t_2 + t_3)}} \equiv \hat{T}_\beta . \quad (9)$$

\hat{T}_β の符号を確認するため、(9)式最初の等号右辺の項の分子の符号に着目する。仮定 1 の下では $((1 + \beta\gamma)t_1 + t_3)^2 + 2\gamma t_1(\beta(t_3 - t_1) + t_2 + t_3) > 0$ が成立するため、 \hat{T}_β の符号が正である条件は、以下のように表す事ができる。

$$\sqrt{((1 + \beta\gamma)t_1 + t_3)^2 + 2\gamma t_1(\beta(t_3 - t_1) + t_2 + t_3)} \geq (\beta\gamma t_1 + 2t_3)$$

この不等式の両辺を 2 乗することにより、以下の関係を得る。

$$2\gamma t_1(t_3 + t_2) \geq 3t_3^2 - 2t_1t_3 - t_1^2$$

したがって、(9)式における、 \hat{T}_β の符号に関し以下のことがわかる。

$$\hat{T}_\beta \geq (<) 0, \text{ if } \gamma \geq (<) (3t_3^2 - 2t_1t_3 - t_1^2) / [2t_1(t_2 + t_3)] \equiv \gamma^E . \quad (10)$$

上記の人口密度 γ^E は \hat{T}_β の符号の閾値となる人口密度を示している。ここで、仮定 1 の下では $t_2 < t_1 < t_3$ であるため、以下のように γ^E は正の値であることがわかる。

$$\gamma^E = \frac{3t_3^2 - 2t_1t_3 - t_1^2}{2t_1(t_2 + t_3)} > \frac{3t_3^2 - 2t_3^2 - t_3^2}{2t_1(t_2 + t_3)} = 0 .$$

(5)式の左辺をまとめたものを $F(x^*)$ 、右辺を $G(x^*)$ と示すと、以下の 2 式を得る。

$$F(x^*) = \frac{\gamma t_1}{2} \left(x^* - \frac{\beta\gamma + \gamma + 1}{\gamma} \right)^2 - \frac{1 + \beta^2 \gamma^2}{2\gamma} t_1,$$

$$G(x^*) = t_2 + \beta t_3 + t_3 x^*. \quad (11)$$

ここで、(11)式の第1式右边における第1項の括弧内の $(\beta\gamma + \gamma + 1)/\gamma$ に着目すると、 β が減少すれば、この値は減少することがわかる。これは、 β が減少すれば、 $F(x^*)$ の頂点が左にシフトすることを意味する。さらに、(11)式の第1式右边における第2項に着目すると、符号を含めた第2項は β の減少関数となっている。したがって、 β が減少すれば、符号を含めた第2項は増加することがわかる。これは、 β が減少すれば、 $F(x^*)$ が全体として上方にシフトすることを意味する。

以下において、横軸を x^* とし、縦軸を $F(x^*) \cdot G(x^*)$ とする図を用いて、都市中心部の規模 β の減少によって、家計の交通手段がどのように代替するのかを分析する²⁾。まず、 $\gamma \geq \gamma^E$ に対応する状況を考える。この状況は、都市近郊の人口密度が比較的高い状況を示している。人口密度が高いため、自家用車利用による大きな渋滞が発生しており、この渋滞は都市中心部に近づくにつれてますます酷くなる状況にある。この状況下において、(11)式における $F(x^*)$ と $G(x^*)$ を用いて、都市中心部の規模 β の減少がもたらす x^* への影響を図示したものが図6である。

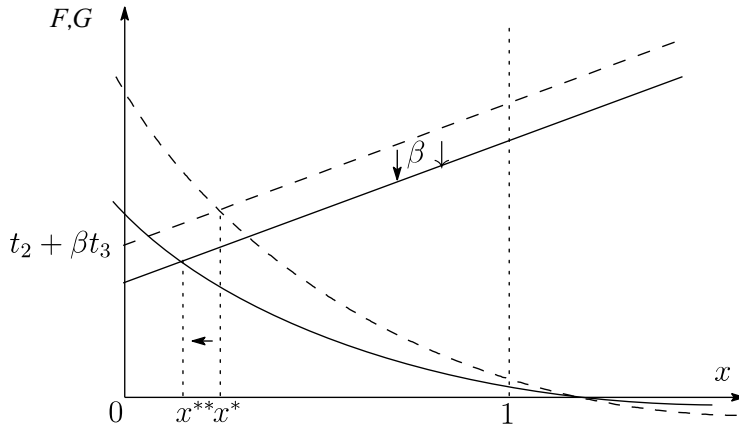


図6： $\gamma \geq \gamma^E$ の場合

図6では、人口密度 γ が高い大都市において、都市中心部の規模を小さくする政策を行った場合の影響が示されている。この都市においては、都市中心部において特に顕著な交通渋滞が発生してい

2) 本稿において、都市の人口密度や徒歩費用は異なるが、それ以外の状況、例えば道路の広さや公共交通機関の質など、はどの都市も同じであることを仮定している。

るため、規模縮小政策の結果、都市中心部における徒歩移動費用の減少による公共交通機関利用が促進される一方、自家用車利用においても最も渋滞の発生する都市中心部の移動費用が大きく減少する結果、かえって自家用車利用を促し、渋滞が悪化することが示されている。つまり、人口密度が高い大都市においては、都市中心部を縮小するという政策は、交通渋滞に対して悪影響を及ぼす政策となる。

次に、 $\gamma < \gamma^E$ に対応する状況を考える。この状況は、都市近郊の人口密度が比較的低い小都市の状況を示している。人口密度が低いため、渋滞自体は存在するものの大規模な渋滞は発生していない。この状況について図示したものとして、以下の図7を示すことができる。

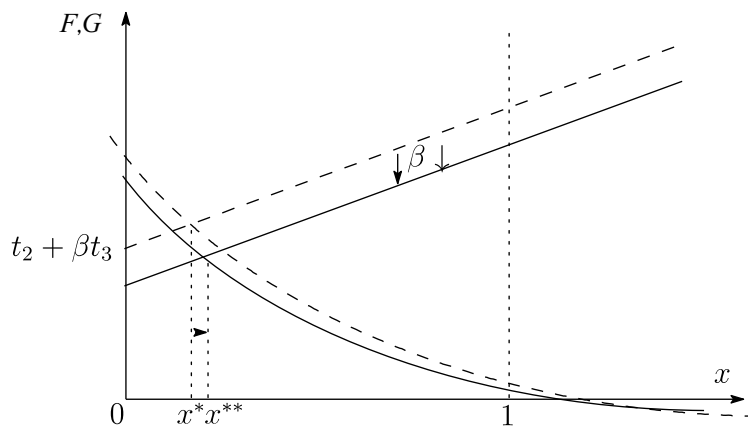


図7： $\gamma < \gamma^E$ の場合

図7では、人口密度 γ が小さい小都市において、都市中心部の規模を小さくする政策を行った場合の影響が示されている。このような都市の場合、都市中心部の規模 β が小さくなれば、自家用車利用に起因する渋滞がそもそも大きくないためその費用減少効果は小さい一方、公共交通機関利用における総費用が減少するため、公共交通機関利用が多くなる。

以上の状況をまとめると以下の命題1を示すことができる。

命題1：交通渋滞を考慮した場合、都市の人口密度 γ に関し、 $\gamma \geq (<) \gamma^E$ である場合、都市中心部の規模 β を小さくすればするほど、公共交通機関の利用比率は低く（高く）なり、渋滞は悪化（緩和）する。

この命題1からは、人口密度が低い小都市ほど、都市中心部の規模を小さくすることにより都市中

心部の徒歩費用が減少することから、公共交通機関利用を促進することがわかる。

次に、各都市の都市環境を表す徒歩費用 t_3 に焦点を当ててみよう。日本の地方都市においては、例えば、冬期になると降雪等により市街地にて徒歩移動の費用が高い地域や、夏期における日照等により同様に市街地での徒歩移動の費用が高い地域などが存在する。これらの都市環境においては、徒歩費用 t_3 は大きなものになると予想できる。以下では、都市の人口密度 γ と各都市の持つ環境を表す徒歩費用 t_3 の組み合わせと、都市中心部の縮小政策の関係に焦点を当てて分析を行う。

都市中心部の規模 β の減少による x^* への影響ついて、(10)式にて示される閾値 $\gamma^E = (3t_3^2 - 2t_1t_3 - t_1^2) / [2t_1(t_2 + t_3)]$ に着目する。この γ^E を t_3 にて偏微分すると、以下の関係を得ることができる。

$$\frac{\partial \gamma^E}{\partial t_3} = \frac{(t_1 - t_2)^2 + (6t_3 - t_2)t_2 + 3t_3^2}{2t_1(t_2 + t_3)^2} > 0.$$

上記の不等号は仮定1の下で成立し、徒歩での移動費用 t_3 が高くなると、閾値 γ^E が大きくなることを示している。ここで、横軸を t_3 、縦軸を γ とする図を考えると、(9)式における $dx^*/d\beta$ の符号に関し、以下の図8のように示すことができる。

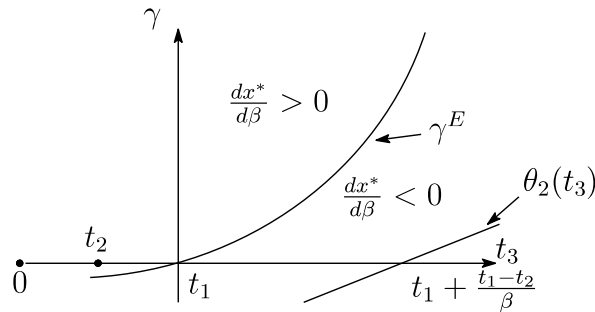


図8：様々な人口密度と都市環境の下での都市中心部縮小の影響

解の存在領域については、図5における斜線部と同じである。つまり我々が着目すべき領域は、仮定2'より、 $t_1 < t_3 < \frac{t_1 - t_2}{\beta} + t_1$ の範囲においては、 $\gamma \geq 0$ となる領域であり、 $\frac{t_1 - t_2}{\beta} + t_1 \leq t_3$ の範囲において、(7)式における $\theta_2(t_3)$ よりも大きい γ が存在する領域である。ここで、図8において、(10)式における γ^E が図示されている³⁾。この都市の本来の人口密度 γ が γ^E を上回っている場合、(9)式における

3) γ^E の t_3 に関する2階微分は $\frac{\partial^2 \gamma^E}{\partial t_3^2} = \frac{(3t_2 - t_1)(t_2 + t_1)}{t_1(t_2 + t_3)^3}$ であるため、図8は $3t_2 - t_1 > 0$ となる2階微分が正となる状況を示している。 $3t_2 - t_1 \leq 0$ となる2階微分が負となる状況も図示することは容易であるが、各命題の含

$dx^*/d\beta$ の符号は正となり、逆に、人口密度 γ が γ^F を下回っている場合、 $dx^*/d\beta$ の符号は負となる。このことは、命題1にて示された状況を表している。

一方、同じ人口密度の下において、徒歩費用のみが異なる場合を考えてみよう。図8にて明らかに、同一の人口密度下で徒歩費用が低い都市では、(9)式における $dx^*/d\beta$ の符号は正となりやすく、徒歩費用が高い都市ではその符号は負となりやすい。言い換えれば、徒歩費用が高い都市において、都市中心部の規模縮小は、公共交通利用を促しやすいことを示している。これは、自然環境が厳しく徒歩費用が高い都市の場合、都市中心部の規模縮小政策により、自家用車利用の費用の減少に比べて、公共交通機関利用時の徒歩費用がそもそも大きいため相対的に大きく減少されるためである。逆に、自然環境が穏やかで徒歩費用が低い都市の場合、都市中心部の規模縮小政策により、公共交通機関利用時の都市中心部移動のための徒歩費用が相対的に大きく減少しないため、自家用車の利用を促しやすい。これらをまとめると以下の命題として示すことができる。

命題2：同一の人口密度下で徒歩費用が高い（低い）都市において、都市中心部の規模縮小は、公共交通機関利用（自家用車利用）を促しやすい。

4. まとめ

本稿では、自家用車の利用により交通渋滞が発生する線形都市モデルを用いて、都市中心部の規模を縮小する政策が、交通需要の代替関係にどのような影響を与えるのかに焦点を当て分析を行った。特に、このモデルでは、自家用車利用者が、都市中心部に向かうにつれ、より激しい渋滞が発生するため、自動車利用の単位距離当たりの移動費用が増加する状況を模写している。本稿の分析において、都市中心部の規模縮小政策を取る場合、都市近郊の人口密度と自然環境の違いによって、公共交通機関の利用促進に関して様々な影響が生じることがわかった。

まず、都市近郊の人口密度と都市中心部の規模縮小政策の関係については以下の結論が得られた。都市近郊の人口密度が大きい都市においては、都市中心部において特に顕著な交通渋滞が発生している。そのため、規模縮小政策の実行により、公共交通機関の利用において都市中心部の徒歩費用が削減される一方、自家用車利用において最も渋滞の発生する都市中心部の移動費用がより大きく削減される結果、かえって自家用車利用を促し、渋滞が悪化することが示された。この状況においては、都市中心部を縮小するという政策は、交通渋滞に対して悪影響を及ぼすことがわかった。一方、都市近郊の人口密度が小さい都市において、都市中心部の規模の縮小は、渋滞の存在しないモデルと同様に、公共交通機関の利用を促進する。これは、最終目的地までの距離が小さくなれば、

意に違いが生じないため割愛する。

自家用車利用に起因する渋滞がそもそも大きくないためその費用減少効果は小さい一方、公共交通機関利用の総費用が減少するためである。近年、日本の各地方都市は人口流入政策の実施を競っており、結果として都市の人口増加が生じている地域の中核的な都市もある。本稿での結論からは、社会人口増の傾向がある場合、都市中心部の規模縮小政策の施行は、交通渋滞の観点からは状況が悪化する可能性があることを示唆している。

次に、都市の自然環境と都市中心部の規模縮小政策の関係については以下の結論が得られた。自然環境が穏やかな徒歩費用が低い都市の場合、都市中心部の規模縮小政策により、自家用車利用の費用減少に対し、公共交通機関利用時における徒歩費用がそもそも低いため相対的に少ししか減少しない。そのため、都市中心部の規模縮小政策により、却って自家用車利用を増加させ、渋滞を発生させる可能性を高める。逆に、自然環境が厳しく徒歩費用が高い都市の場合、規模縮小政策により、公共交通機関利用時の徒歩費用が相対的に大きく減少されるため、公共交通機関の利用を促しやすいことがわかった。この結論は、例えば北海道や沖縄など徒歩の自然環境が厳しい地方都市においては、都市中心部の規模縮小政策は、公共交通機関の利用促進を促しやすいことを示している。

本稿では、家計はどれか1つの交通手段を、それぞれの費用を判断基準として選択するというモデルを通して交通手段の選択を考察している。八田（2009）や山内・竹内（2008）などで示される標準的な近代経済学の視点からは、交通需要を織り込んだ各家計の効用関数を想定した上で、それぞれの交通手段における利用単位費用を考慮しつつ、最も効用を大きくする交通手段とその交通需要量の組み合わせを導出する、という形で考察することが多い。本稿にて提示した独自の費用構造の下で明示的な効用最大化を通じた分析を行う場合、家計の交通需要を完全代替となるような効用関数を想定し、効用最大化問題を解くことが考えられる。ただし、完全代替の場合においては、家計の最適交通需要は、Kuhn-Tucker条件における端点解の形で導出される可能性が高い。この場合、都市中心部の規模縮小政策の影響は、本稿における結果と同じものとなることが予測できる。一方、家計の各交通手段に対する需要が完全代替ではない場合、本稿の結論とは異なり、より複雑な結果が得られる可能性が高い。これらの分析は今後の課題であり、これらのモデルを構築し分析していくことは、有益なものであると思料する。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP16K03664 の助成を受けたものである。記して感謝の意を示したい。

参考文献

Beckmann, M. (1999) “*Lectures on Location Theory*”, Springer.

Quandt, R. and W. Baumol (1966), “The demand for abstract transport modes: Theory and Measurement”, *Journal of Regional Science*, 6 (2), 13-26.

八田達夫、2009、『ミクロ経済学』、東洋経済新報。

松崎大介、2015、「地方都市における公共交通の利用促進と都市の規模」、*経済論集* 第40巻第2号、289-302。

森地茂・山形耕一 編著、1993、『交通計画』、新体系土木工学60、技報堂出版。

山内弘隆・竹内健蔵、2008、『交通経済学』、有斐閣アルマ。